Aus der Chirurgischen Universitätsklinik, Berlin, Ziegelstraße
(Direktor: Prof. Dr. Rostock).

Übersicht über normale Veränderungen und sogenannte „Krankheiten" in transplantierten Knochenspänen

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Medizinischen Doktorgrades an der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

vorgelegt von

Werner Schulze-Brüggemann
aus Gevezin.

Tag der Promotion: 1. Juli 1939

VERLAG RUDOLPH PFAU, BERLIN NW. 7, LUISENSTR. 21

M 118

Gedruckt mit Genehmigung

der

Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. Siebeck

Referent: Doz. Dr. Haase

Korreferent: Prof. Dr. Rostock

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Uebersicht über normale Veränderungen
und sogenannte „Krankheiten"
in transplantierten Knochenspänen.

Die Veränderungen, die ein verpflanzter Knochenspan nach seiner Implantation durchmacht, sind Grund vieler Untersuchungen experimenteller und klinischer Art geworden.

Sehr früh schon in der Geschichte der Knochentransplantation begegnet uns die Frage nach dem Schicksal des implantierten Knochens und hier zunächst als Gesamtwertung für den klinischen Erfolg selbst. Man erkannte die Unterschiede in der Art der Verpflanzung und lernte ihre biologischen Grundbedingungen kennen. *Ollier* hat wohl als Erster die fundamentalen Unterschiede zwischen Hetero-, Homo- und Autoplastik erkannt und ist schon damals den heutigen Erkenntnissen sehr nahe gekommen. Er wußte über die Bedeutung des mitverpflanzten Periostes als osteogenetische Quelle und Stütze für die Lebensfähigkeit des Transplantates. Das ist überhaupt im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts die große Frage: Kann das Transplantat am Leben erhalten bleiben oder stirbt es einschließlich Periost auf jeden Fall ab? (*Barth, Trèves*). 1905 setzte *Lexer* sich das Ziel, „durch klinische Versuche den Wert der verschiedenen Arten der Knochentransplantationen zu erforschen und Klarheit über die sich entegegenstehenden Ansichten von *Ollier* und *Barth* zu gewinnen;" und wohl ihm ist es zu verdanken, daß dieses Gebiet in so breiter Basis der praktischen Chirurgie zugänglich gemacht wurde und durch Forschung und klinische Erfahrung die biologischen Grundlagen ausgebaut und gefestigt werden konnten.

Unzählige Versuche wurden angestellt, um über die Vorgänge im Transplantat Klarheit zu erlangen. Im besonderen sei hier das Studium dieser Vorgänge durch Knochenverpflanzungen in Weichteile erwähnt. Durch die histologischen Untersuchungen bei wiedergewonnenen Präparaten und durch die klinisch wichtigere Röntgenbeobachtung der Vorgänge im transplantierten Knochen sind heute eindeutige Befunde über die „Krankheiten" des verpflanzten Knochenspans bekannt; gleichzeitig damit wurde versucht, ihre Ursachen zu erfassen und Erklärungen aller „Krankheiten" durch Einwirkungen verschiedenster Art zu geben. In der letzten Zeit stehen die Untersuchungen der mechanischen Einwirkungen auf das Transplantat im Vordergrund.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Arbeit, eine Gesamtübersicht über die bekannten und beschriebenen Veränderungen im transplantierten Knochen zu geben und besonders deren röntgenologischen Nachweis zu beschreiben. Das klinische Material der chirurgischen Universitätsklinik in Berlin aus den Jahren 1934 bis 1936 ist auf diese Veränderungen hin untersucht worden.

Die vielen Möglichkeiten der Knochenverpflanzung, sowohl von seiten des Transplantates in seinen verschiedenen Abänderungen als Auto-, Homo-, Heterotransplantat, lebendes oder totes Material, os purum (*Orell*), Knochenpaste usw., als auch von seiten der Beschaffenheit des künftigen Lagers, also des Gewebes, das den Knochenspan nach seiner Einpflanzung umgibt, sind für sein Schicksal und für die in ihm stattfindenden Veränderungen in erster Linie von Bedeutung. Operationstechnik in Berücksichtigung der biologischen Verhältnisse sind weitere Unterlagen, denen in bezug auf das Schicksal des eingepflanzten Knochens größte Beachtung geschenkt werden muß. Schließlich sind auch alle mechanischen Einwirkungen zu erwähnen, denen das Transplantat während seines Um- bzw. Einbaues in den Defektknochen ausgesetzt ist.

Es war schon erwähnt, daß gerade die letztgenannten Tatsachen in der jüngsten Zeit wohl den größten Forschungsraum einnehmen. Ueber die Art der Verpflanzung und Operationstechnik sind besonders bei den deutschen Chirurgen einheitliche Gesichtspunkte maßgebend.

Veränderungen durch Ab- und Umbau.

Lexer hat in seinem Werk „Die freien Transplantationen" genaueste Beschreibungen der Veränderungen im Transplantat gegeben. Im folgenden sind die von ihm beschriebenen Stadien, die das Transplantat durchläuft, zugrunde gelegt.

Die erste Veränderung, die man im Röntgenbild wahrnehmen kann, wird von *Lexer* als Atrophie bezeichnet. Sie zeigt sich als eine Aufhellung des Knochenspans und wird hervorgerufen durch Resorptionsvorgänge, die auftreten, sobald der Anschluß an das Gefäßnetz des Lagers erfolgt ist. Dabei wurde beobachtet, daß die Resorption an kräftigen, kompakten Stücken langsamer als bei spongiösen einsetzte.

Besonders gut konnte man das atrophische Stadium bei *in Weichteile verlagerten Transplantaten* verfolgen, die zur Herstellung der Nase unter die Haut des Armes eingepflanzt wurden. Nach einer Zeit von 4 Wochen waren die eingelagerten Knochenplatten noch unverändert, höchstens wurden an den Rändern leicht gewundene Konturen sichtbar. Nach 1 Monat begann dann die starke Atrophie durch Resorption, Ab- und Umbau. Nach 3 Monaten waren die Knochenplatten auf den Röntgenbildern stark und unregelmäßig fleckig aufgehellt, die Konturen der Ränder und Oberfläche leicht bucklig. Weiter waren die Knochenplatten nach Ablauf der genannten Zeit um ein Drittel schmäler und dänner geworden. Die Erfahrung lehrte, daß nach dem dritten Monat ein weiterer Abbau nicht eintrat, wenn nicht noch Ernährungsstörungen oder Eiterungen hinzukamen.

In einem allseitig geschlossenen Knochenlager waren die Transplantatveränderungen im ersten Stadium nach Beobachtungen am Röntgenbild ganz andere. Bei subperiostal gelagerten Transplantaten sah *Lexer* keine Atrophie durch Resorption; es trat keine Aufhellung ein. Aber schon nach vier Wochen gingen Defekt- und Transplantatränder ineinander über und bereits nach einem halben Jahr war ein fast gleichmäßiger Schatten festzustellen. In diesen Fällen war der erhaltene Periostschlauch auch ohne das Transplantat befähigt, den Defekt völlig zu ersetzen und eine feste Verbindung herzustellen. Der Neubildungsprozeß begann von ihm aus sofort, wenn die Ernährung erhalten war.

Auch *von Ertl* sah in seinen zahlreichen Transplantationen zur Ueberbrückung von Kieferdefekten keine Atrophie des Knochenspans, obgleich es sich hier nicht um ein geschlossenes Lager handelte. Nur die Vorderfläche des eingekeilten Spanes war mit Periost bedeckt, während die Hinterfläche offen war, aber alsbald von dem angefrischten Periost der Stumpfenden überwuchert wurde.

Die atrophischen Veränderungen am *Knochenbolzen* im spongiösen Lager waren ähnlich wie bei den Spanverpflanzungen in einem offenen Defekt, allerdings mit gleichzeitig eintretender Knochenanlagerung.

Weit längere Zeit nahmen die Veränderungsvorgänge bei Bolzen, die zur Vereinigung von Diaphysen verwendet wurden, in Anspruch. Die Verlangsamung der genannten Vorgänge lag daran, daß bei der Einführung des Knochenbolzens in die Markhöhle die Gefäße und das Mark der Fragmente zerstört wurden und für deren Regeneration längere Zeit nötig war, weshalb heute diese Art der Transplantation vielfach abgelehnt wird.

Neben dem Umbau hat *Lexer* eine völlige Resorption des Knochenbolzens beobachtet, und auch nach *Verescinski* ist das Endschicksal des Knochenbolzens immer: „dem natürlichen Lumen der Knochenhöhle Raum zu geben".

Am besten konnte *Lexer* die Veränderungen des atrophischen Stadiums bei *periostgedeckten Transplantaten* verfolgen, welche z. B. als Tibiaspan einen Diaphysendefekt zu überbrücken hatten. Bei diesen Transplantaten sah man während der ersten 3 Monate eine immer stärker werdende Aufhellung; die Konturen wurden unregelmäßig und zur gleichen Zeit wurde eine vom Periost ausgehende Knochenneubildung beobachtet. Zu der Aufhellung kam noch eine Verschmälerung des Transplantates, wie sie in erhöhtem Maße bei den in Weichteile verpflanzten Knochenspänen gesehen wurden.

Alle genannten Veränderungen im Span, die sich auf das atrophische Stadium beziehen, zeigten eine mehr oder weniger ausgeprägte Resorption, die den Knochenabbau gegenüber der Neubildung hervortreten ließ.

Die von *Lexer* beschriebenen Stadien im normalen Verlauf der Einheilung waren zeitlich nicht gegeneinander abgrenzbar. Vorgänge des An- und Abbaues gingen ineinander über oder liefen gleichzeitig ab und so entstand ein Uebergangsstadium, das die wellige Kontur der Transplantatoberfläche zeigte und das weiter im ossifikationsfähigen Lager eine knöcherne Vereinigung des Spanes mit dem Defektknochen erkennen ließ. Damit war das Transplantat schon im lebenden Umbau und zeigte auf dem Röntgenbilde am Ende des dritten Monats nach seiner Einpflanzung eine Anbautätigkeit. Knochenspäne, die in Weichteile verpflanzt wurden, ließen eine zunehmende Verdunkelung der Knochenschatten erkennen. Die Unregelmäßigkeiten der freien Ränder verschwanden und nach ungefähr $1—1^1/_2$ Jahren wurde ein voller, die ganze Dicke des Knochens einnehmender Ersatz gefunden.

von Ertl beobachtete bei Transplantaten, die in Kieferdefekte so eingeführt waren, daß die Vorderfläche des 3—4 mm dicken Kortikalisspanes aus der Tibia periostbedeckt und die Rückseite offen war, aber mit der Periostkortikallamelle des Bruchendes in einer Ebene lag, folgendes:

Schon in der zweiten Woche nach der Operation zeigte das rückwärtige Periost der Bruchenden ein Uebergreifen auf das Transplantat und bildete dort einen dünnen Knochenschatten. In der dritten und vierten Woche wurde der Schatten stärker und die einsetzende Vereinigung der Fragmente mit dem Span war durch Betastung festzustellen. Weiter wurde dann eine zunehmende Verdickung bemerkt, die nach $3^1/_2$ Monaten das dreifache der früheren Stärke des Knochenspans erreicht hatte! In der 14. Woche nach der Operation zeigte das Röntgenbild eine gleichmäßige Verwachsung von Transplantat und Bruchenden.

Aehnliche Beobachtungen einer lebhaften regenerativen Tätigkeit dünner Knochenlamellen machte *Kartasev*.

Beim periostbedeckten Transplantat, das einen großen Diaphysendefekt zu ersetzen hatte, fand *Lexer* während der ersten drei Monate nach der Einpflanzung eine deutliche Knochenneubildung auf der Transplantatoberfläche, die vom Transplantatperiost ausging. Gleichzeitig ging aber auch vom Defektperiost eine

Knochenneubildung auf den Knochenspan über. Diese Neubildung von beiden Teilen vereinigte sich in der Höhe der Transplantatenden. Dabei wurde beobachtet, daß vom Defektperiost aus es niemals zu einer ausgedehnten Calluswucherung, wie dies bei den Frakturen der Fall ist, kam, sondern der abnehmende Knochensaum kroch unter das Transplantatperiost.

Die Verbindung des Transplantates mit dem Lager war bei normalem Verlauf nach ungefähr drei Monaten beendet. Die für das atrophische Stadium beschriebenen Unregelmäßigkeiten an der Transplantatoberfläche wurden im vierten Monat ausgeglichen und der Schatten im Röntgenbild wurde dichter.

Veränderungen durch Funktion.

Praktisch und klinisch am wichtigsten sind nun die Veränderungen, die im verpflanzten Knochenspan durch die Funktion des transplantattragenden Gliedes hervorgerufen werden. Nach der eingetretenen Vereinigung des Spanes mit dem Defektknochen und während des lebenden Umbaues des Transplantates, der am Röntgenbild sehr gut durch die Gleichmäßigkeit seiner Schattenbildung erkenntlich wird, kann die funktionelle Inanspruchnahme beginnen. Unter der Einwirkung der Funktion fängt das Transplantat an sich weiter zu verändern, sich seiner Umgebung und seiner Inanspruchnahme anzupassen.

Lexer beobachtete, daß breite Tibiaspäne, die Radius- oder Ulnadiaphysendefekte überbrückten, unter dem Einfluß der Funktion noch weit nach ihrem atrophischen Stadium und dem des lebenden Umbaues immer mehr an Breite verloren, bis sie ungefähr nach 1 Jahr die Schlankheit der zu ersetzenden Knochen erreicht hatten. Ihre Schattenbildung war dann immer noch stärker als die der Defekte und erst nach 2 bis 3 Jahren war ein gleichmäßiger Schatten der Diaphyse festzustellen.

Waren die defektdeckenden Transplantate zu schmal, so kam es ebenfalls unter Einwirkung der Funktion zu einer allmählichen Verbreiterung, bis mehr oder weniger vollkommen die Dicke der ersetzten Diaphyse erreicht war. Aehnliche Wahrnehmungen werden berichtet von *Bier, von Ertl, Petrow* und anderen Beobachtern.

Die Funktion, die das Zusammenwirken verschiedener Kräfte darstellt, welche durch Muskelspannung und Belastung erzeugt werden, formt das Transplantat zu einem vollwertigen Knochenersatz. Sie darf erst dann einsetzen, wenn das Transplantat das atrophische Stadium überwunden hat. Ist dieses nicht der Fall, so ist es durch eine zu frühe Inanspruchnahme sehr gefährdet; es kann zur Fissurenbildung oder sogar zur Fraktur kommen.

Veränderungen resorptiver Art durch verschiedene Ursachen.

Lexer erkannte als sehr wichtig, die Unterscheidung durch das Röntgenbild der im normalen Einheilungsverlauf auftretenden Atrophie des Transplantates von der „pathologischen Resorption".

Damit kommen wir zu einer Reihe von Veränderungen im Transplantat, die unabhängig von der zur rechten Zeit einsetzenden Funktion ihren Weg nehmen und die durch die verschiedensten Ursachen hervorgerufen werden. Während die Atrophie nur einen vorübergehenden Zustand anzeigt, ist die „pathologische Resorption" ein Vorgang, der zum völligen Schwund des Transplantates führen kann.

Im atrophischen Zustand zeigten die fleckigen Aufhellungen auf den Röntgenbildern, daß die Veränderungen nicht überall mit der gleichen Stärke auftraten, sondern daß durch An- und Umbau die Aufhellungen bald wieder verschwanden. Die völlige Resorption dagegen zeigte eine „zusammenhängend fortschreitende Auflösung der Substanz" (*Lexer*). Für diese Art der Veränderung im Knochenspan macht *Lexer* Reize verantwortlich, die vom Transplantat ausgehen und die besonders bei heteroplastischem oder totem Material auftreten. Weiter spielte der Reiz von Fremdkörpern (Befestigungsmaterial) eine Rolle, die gelegentlich Arrosionen — im Röntgenbild als starke Einkerbungen erkenntlich — hervorriefen, welche bis zum Transplantatbruch führen konnten, wenn man sie nicht rechtzeitig entfernte.

Am häufigsten war wohl das ungeeignete Lager Ursache einer „pathologischen Resorption" (*Lexer, von Ertl* und andere).

von Ertl fordert unbedingt eine Harmonie zwischen dem Defektknochen und dem aufzunehmenden Transplantat.

Die Eignung des Lagers kann herabgesetzt werden durch starke Vernarbung der Weichteile und durch Haematome, die durch ungenügende Blutstillung bei der Operation entstehen. Weiter sind Bakterien und Gewebsgifte in Betracht zu ziehen, die den Einheilungsprozeß des Transplantates hindern können. — Die neuere Forschung beschäftigt sich mit Avitaminosen und Hormonmangel und macht diese für die Nichteinheilung des Transplantates mitverantwortlich (*Rehn*).

Mechanische Einwirkungen.

Burckhardt sieht allgemein in dieser Frage als das Wesentliche den Gesamtmechanismus an, unter dessen Einfluß die überbeanspruchte Stelle zu Schaden kommt. Eine ständige Reihe kleinster Traumen, die durch Zusammentreffen von Widerstand und Bewegung auf eine Stelle einwirken, zerstören diese allmählich so weit, daß man sie als Schädigung im Röntgenbild erkennen kann.

Diese nachteilige Einwirkung auf den Knochen deutet *Brandt* als eine abwegige funktionelle Belastung, die durch ungünstige „statisch-muskel-gelenkmechanische" Verhältnisse entsteht.

Ueber die Veränderungen, die die Fraktur des Transplantates zur Folge haben, berichten viele Autoren. *Lexer* fand, daß der Transplantatbruch an einer Arrosionsstelle statthatte. Bevor es zur völligen Querschnittsresorption des Transplantates kam, bildete sich die „Transplantatpseudarthrose". Aber nicht immer ging eine Arrosion voraus. Es wurden Frakturen beobachtet, die schon nach geringen mechanischen Einwirkungen auf das anscheinend gut einheilende Transplantat auftraten — ähnlich wie bei den sogenannten Spontanfrakturen — und zwar sehr häufig zu einer bestimmten Zeit. Daraus wurde geschlossen, daß zu dieser Zeit der lebende Umbau im Transplantat noch unvollkommen war, die Lamellensysteme gelockert waren und das ganze Knochensystem sehr brüchig sein mußte. Auf den Röntgenaufnahmen fand Lexer die Einleitung solcher Spontanbrüche durch Auffasserung der Kortikalis, die er mit den *„Looserschen* Umbauzonen" vergleicht. Diese Auffaserung ging von der Oberfläche der einen Seite des Transplantates aus und näherte sich langsam der anderen und ließ so einen Spalt im Span ent-

stehen. Die Stelle einer solchen Infraktion wurde experimentell dann weiter erforscht und stellte sich *einwandfrei als eine solche der größten und ständigen Inanspruchnahme heraus.* Oft genügte schon ein schlechter Verband, der die Stellung des Gliedes nicht gut stützte und als Hebelwirkung das Transplantat einem ständigen Druck aussetzte.

Wenzl, der neuerdings die „Kippspanplastik" vorschlägt, sich als Ursache dafür, daß das Einheilen des Transplantates und die Konsolidation der Fragmente in einzelnen Fällen oft sehr lange dauert, die Tatsache an, daß die Fixation zu kurz und ungenügend durchgeführt war und daß es somit durch „Unruhe" zu einer mangelhaften Vereinigung kam.

Odelberg-Johnseon ist derselben Meinung wie *Lexer,* führt aber noch ein die schleichende Fraktur begünstigendes Moment hinzu, und zwar ist dieses die weitgehende „Nekrotisierung des Transplantates", die er bis zu 2 Jahren nach der Implantation in Rechnung stellt. Seine Beobachtungen entnimmt Verfasser aus Defektbildungen im Knochentransplantat nach der *Albee*schen Operation bei tuberkulöser Spondylitis.

Kleinschmidt sieht die Ursachen der Spaltbildungen im Transplantat in geringfügigen Traumen, die selbst bei einer guten Fixation der Fragmente auftreten können.

Rehn konnte feststellen, daß nach Frakturen Aktionsströme auftraten und andauerten, solange eine Bruchhyperaemie vorvorhanden war (mehrere Wochen). Die Aktionsströme sind nach Meinung *Kleinschmidts* die Ursache tetanischer Muskelkontraktionen, die eine absolute Ruhigstellung der Fragmente nicht zulassen.

Mit *Lexer* ist auch *Kappis* der Meinung, daß die Spanbrüche in erster Linie darauf zurückzuführen sind, daß man die Knochentransplantate zu früh mechanisch beansprucht und belastet. *Campbell* weist darauf hin, daß ein Transplantat bricht, sobald es unter Spannung eingelegt wird.

Wir erfahren aus einer Arbeit von *Sinn,* in der eine Nachprüfung über mechanische Ursachen der Pseudarthrosen angestellt wurde, daß das Ergebnis dieser Prüfung ein eindeutiges Ueberwiegen der mechanischen Ursachen zeigte, gegen die alle anderen Ursachen an Bedeutung zurücktraten.

Weitere Untersuchungen über ie mechanischen Einwirkungen brachten Erklärungen über die Entstehung der verschiedenen Transplantatbrüche und schleichenden Frakturen überhaupt.

Binswanger zeigte in seinen Untersuchungen über die physikalischen Zustandsänderungen im Knochentransplantat, daß sich der Umbau in den nach *Lexer* angegebenen Stadien durch physikalische Größenwerte bestimmen läßt. Frei verpflanzte periostgedeckte Tibiaspäne (Kaninchen) zeigten eine Abnahme ihrer Biegungselastizität bis zur 20. Woche; nach 35 Wochen war eine Zunahme nachzuweisen. Ein 9 Wochen in die Weichteile gelagerter Tibiaspan (periostgedeckt) zeigte gegenüber einem frischen Tibiaspan desselben Kranken eine Abnahme um rund die Hälfte seiner Biegungselastizität.

Versuche ähnlicher Art wurden von *W. Haase* durchgeführt. Diese Untersuchungen wurden nach den Grundsätzen technischer Werkstoffprüfung angestellt und gaben manche Erklärung für die Endzustände der im Knochen auftretenden Veränderungen. Durch eine dauernde mechanische Ueberbelastung an irgendeiner Stelle „ermüdet" der Knochen allmählich; er ist nicht in genügendem Maße in der Lage, an dieser überbelasteten Stelle der dauernden, zu starken Beanspruchung entgegenzuarbeiten (Verstärkung des Knochens). Es treten Veränderungen auf, die man beim Transplantat als beginnende Infraktion auf dem Röntgenbild beobachten kann. Die Prüfungen *Haases,* die z. T. im Staatlichen Materialprüfungsamt in Berlin durchgeführt wurden, ergaben, „daß bei jeder Beanspruchung eines Materials nach gesicherten Gesetzen der Mechanik neben einem etwaigen Bruch zahlreiche weitere Zerrüttungszonen auftraten". Mit Auftreten dieser Zerrüttungszonen folgt wiederum eine Behinderung der Gewebsdurchblutung, die dann Ursache resorptiver Veränderungen in den betroffenen Teilen ist.

Henschen ist der Meinung, daß aus der Ueberbeanspruchung des Knochens entweder eine frakturlose statische Deformation oder aber nach hochdosierter kurzfristiger Beanspruchung ein langsam eindringender innerer Einriß im Verlauf der am stärksten aufgelockerten Gleitlinien entsteht, der Erschöpfungsbruch.

Auch *Wachsmuth* belegt durch gutes Röntgenmaterial Veränderungen dieser Art am Knochen. Unter Einwirkung „mecha-

nischer Irritationen" kommt es zu Fissuren und schleichenden Frakturen an Stellen, die vorher nachweisbar noch nicht pathologisch verändert waren.

Aus all den vorgenannten Beobachtungen und Untersuchungen erkennen wir, wie leicht mechanische Einwirkungen jeder Art in der Lage sind, Veränderungen im verpflanzten Knochenspan hervorzurufen, besonders dann, wenn dieser noch nicht seinen biologischen Umbau vollendet hat oder wenn er nach seiner Einpflanzung ungünstigen statischen Verhältnissen unterliegt.

Transplantationen
der Chirurgischen Universitätsklinik Berlin.

In den Jahren 1934 bis 1936 wurden an der Chirurgischen Universitätsklinik — Berlin, Ziegelstr., insgesamt 29 Knochentransplantationen zur Ueberbrückung von Pseudarthrosen und eine zur Deckung eines durch Knochencyste entstandenen Defektes vorgenommen. In 14 Fällen war die obere Extremität und in den übrigen 16 die untere Extremität betroffen.

Bei den 14 Operationen an der oberen Extremität wurden in 12 Fällen Knochenlaschen aus der Tibia transplantiert, in 2 Fällen nach *Lexer* verriegelt.

Bei den 16 Operationen an der unteren Extremität 3mal Tibiaspanverpflanzungen, 10 mal nach *Lexer* verriegelt, 2 mal Span aus dem Beckenkamm und 1 mal Verpflanzung eines Malleoluswürfels bei Pseudarthrose des rechten inneren Malleolus.

Die Operationen wurden zum überwiegenden Teil von Prof. *Magnus* selbst ausgeführt. Alle Transplantationen waren autoplastisch und allen lag die weitgehende Erhaltung des lebenden Periostes am Knochenspan zugrunde. Es wurde auch grundsätzlich das am Span haftende Mark unter größtmöglichster Schonung mitverpflanzt. Als Nahtmaterial wurde in 22 Fällen der „Magnus-Draht" verwendet: ein Stahldraht, der nicht auf dem Defektknochen oder Transplantat zusammengedreht wird, sondern dessen Enden durch ein Röhrchen nach außen geleitet und dort umgebogen werden. In 2 Fällen wurde der Span mit starker Seide befestigt, in weiteren 2 Fällen mit Catgut. Bei den restlichen 4 Fällen wurde eine eigentliche Befestigung des Spanes am Knochen nicht vorgenommen.

Es soll hier gleich angeschlossen werden, welche Veränderungen, röntgenologisch nachweisbar, das Nahtmaterial zur Folge hatte. — Ueber die Verwendung körperfremden Materials zur Schienung oder zur Naht bei Pseudarthrosenoperationen ist in der letzten Zeit sehr viel berichtet worden (*Lexer, Magnus, Matti, Häbler, Rehn*).

In den vorliegenden Fällen konnte festgestellt werden, daß bei 14 von 22 die mit Magnus-Draht befestigten Knochenspäne Resorptionsfurchen aufwiesen. Dieselben Erscheinungen wurden bei beiden mit Seidenfäden fixierten Knochenspänen beobachtet und in einem der beiden mit Catgut befestigten Späne.

Daß also jedes körperfremde Material Ursache einer lokalen resorptiven Veränderung im Transplantat sein kann, ist um so mehr verständlich, als gerade bei sehr intensiv vor sich gehendem Umbau jeder Druck auf das Transplantat einen Einfluß auf seine Gestaltung ausübt. — Die Seidenfäden blieben liegen und die Magnus-Drähte wurden in allen Fällen entfernt. Die durchschnittliche Liegedauer dieser Drähte berechnete sich auf 47 Tage für die vorgenannten Fälle, wobei die kürzeste Liegedauer 30 und die längste 93 Tage betrug.

Für die weiteren Beobachtungen der Veränderungen im Transplantat konnten nur einwandfreie Filme verwendet werden, auf denen Ab- und Umbau und jede Strukturveränderung im Transplantat verfolgt werden konnten. Und so fielen von den 30 genannten Fällen 5 für eine weitere Beurteilung aus.

Bei dem normalen Verlauf der Einheilung durchliefen die eingepflanzten Späne durchweg die von *Lexer* angegebenen Stadien. Die beginnende Aufhellung im Spanschatten setzte meistens noch vor Ablauf des ersten Monats nach der Einpflanzung ein. Die Spanatrophie war gekennzeichnet durch eine Verwaschenheit der Knochenstruktur, durch unregelmäßige Aufhellungsgebiete — dazu gehört der Gewebsschwund der unter dem Befestigungsmaterial liegenden Teile — und durch eine wellige Oberflächenkontur.

Alle diese Erscheinungen gelten als ein Zeichen dafür, daß das eingepflanzte Knochenstück Anschluß an den Gefäßapparat seiner Umgebung gefunden hat, und daß sich in ihm ein Umbau vollzieht.

Die Dauer dieser resorptiven Erscheinungen war individuell sehr verschieden. Oft war schon nach 2 Monaten und früher

ein Stillstand der Resorption festzustellen. Bei einem 11jährigen Knaben war bereits in 40 Tagen nach der Operation wieder eine deutliche Verdichtung des Transplantates eingetreten. Bei anderen Patienten wiederum war das atrophische Stadium des Spanes nach 3 Monaten noch nicht zum Stillstand gekommen.

Spielten entzündliche Weichteilprozesse in der Nähe des Spanbettes mit, so war das eingepflanzte Knochenstück in hohem Maße beteiligt. Es zeigten sich diffuse Resorptionserscheinungen innerhalb des ganzen Spanes, wie sie während des atrophischen Stadiums normalerweise in diesem Ausmaße nicht beobachtet wurden und die noch $4^1/_2$ Monate nach der Operation anhielten.

Bei zwei Patienten griff ein entzündlicher Knochenprozess auf die Transplantate über und zerstörte diese, so daß klinisch wieder ein Falschgelenk entstand.

In einem Falle büßte der Knochenspan erheblich an seiner früheren Größe ein und hier schien es so, als wenn der größte Teil der Knochenmasse des Spanes in den früheren Pseudarthrosendefekt hineingebaut worden wäre.

Durch den Einfluß der Funktion wurden größere Unregelmäßigkeiten zwischen den Spänen und den Defektknochen in zwei Fällen ausgeglichen.

Nach drei Monaten war meistens eine Verbindung des Spanes mit dem Defektknochen eingetreten und in der Mehrzahl der Fälle zeigte sich ein Ausgleich der unregelmäßigen Konturen der Spanoberfläche. Die Transplantate bekamen eine klare Struktur und die Aufhellungszonen verschwanden. Einige Fälle sollen uns Beispiele für die im Röntgenbild nachweisbaren verschiedenartigen Veränderungen am transplantierten Knochenspan geben.

Im ersten Fall handelt es sich um eine 27jähr. Patientin, bei der eine Transplantation zur Beseitigung einer Unterschenkelpseudarthrose durchgeführt wurde.

Der Span, der in diesem Falle bei der Operation einbrach, heilte vollständig ein und wie eine Aufnahme 2 Jahre nach der Operation zeigt, bildet er mit dem Defektknochen ein gleichartiges Ganzes.

Der Bruch als solcher schadet also nicht, wenn er primär auftritt. Ist der Bruch dagegen schleichend im Sinne von *Haase* aufgetreten, dann ist die Festigkeit des Spanes verlorengegangen.

Als Folgen, die wohl auf mechanische Einwirkungen zurückzuführen sind, wurden nachstehend beschriebene Veränderungen im und am eingepflanzten Knochenspan beobachtet:

In zwei Fällen, bei denen entzündliche Gewebsprozesse mitspielten, hatte sich nach Entfernung der Magnus-Drähte der körperferne Spanteil von seiner Anlagerungsstelle gelöst. Während sich der obere Teil des Spanes in guter Verbindung und in gutem Aufbau zeigte, kam es im distalen Spanteil zu einer schnell vorwärtsschreitenden Resorption und schließlich zu einem Abbruch. Es ist anzunehmen, daß hier das distale Spanfragment dadurch, daß es gegen die Weichteile unter einem ständigen Druck stand, an der durch Hebelwirkung stark belasteten Stelle zunächst in seiner Gewebsdurchblutung behindert war (Zerrüttungszonen), stark atrophisch wurde und dann abbrach. Der Abbruch erfolgte jedesmal in Höhe des Pseudarthrosenspaltes im Defektknochen.

Mit besonderer Aufmerksamkeit wurden Veränderungen im Transplantat verfolgt, die sich als Aufhellungszonen oder -streifen zeigten und immer an bestimmter Stelle auftraten, nämlich am Transplantat in derselben Höhe, in der im Defektknochen der pseudarthrotische Bruchspalt lag. In der Mehrzahl der Fälle zeigten sich diese Erscheinungen erst nach der funktionellen Belastung der Gliedmaßen und nachdem schon das Transplantat mit dem Defektknochen verwachsen war. Die Aufhellung ging als umschriebene Zone oder Streifen durch das ganze Transplantat hindurch.

In einer Reihe von Aufnahmen der folgenden beiden Fälle konnte nachgewiesen werden, wie an typischer Stelle (Höhe des Pseudarthrosenspaltes im Defektknochen) der Aufhellungsstreifen auftrat, lange Zeit nachdem die funktionelle Inanspruchnahme des transplantattragenden Gliedes erfolgt war.

Im ersten der beiden Fälle handelt es sich um einen 37 Jahre alten Patienten.

29. 7. 31. Bruch des rechten Armes durch Unfall. Es entsteht eine Ulnapseudarthrose.

April 1932. Spanverpflanzung aus der rechten Tibia in die Ulna (in einer anderen Klinik); kein Erfolg.

März 1936. Spanverpflanzung in der Chirurgischen Universitätsklinik Berlin.

Die Rö.-Aufnahme $5^1/_2$ Wochen nach der Operation zeigt den Zustand nach Entfernung der Magnus-Drähte. Deutliche Einkerbungen sind an ihrer Stelle zu sehen. Der Span hat Anschluß an den Defektknochen gefunden. Klinisch ist um diese Zeit die Fraktur fest. Der Patient wird $6^1/_2$ Wochen nach der Operation aus der Behandlung entlassen, kommt dann aber 2 Monate nach der Entlassung wieder zur Untersuchung. Es ist eine Federung des körpernahen Spanendes festzustellen.

Das Röntgenbild 4 Monate nach der Operation zeigt die gute Verbindung des Spanes mit dem Defektknochen, besonders im körperfernen Teil. An seinem körpernahen Ende aber ist er kolbig aufgetrieben und läßt in diesem Gebiet Aufhellungszonen erkennen. Wahrscheinlich hat an dieser Stelle eine für den Span besonders starke Beanspruchung stattgefunden, auf die er mit einer callusartigen Vermehrung des Gewebes reagiert hat, ohne jedoch damit den drohenden Schaden aufhalten zu können.

In einer weiteren Aufnahme, die den Zustand 5 Monate nach der Operation zeigt, ist bereits wieder eine geringe Verdichtung der Aufhellungszonen im körpernahen Callusteil eingetreten. Dafür ist in Höhe des früheren Pseudarthrosenspaltes ein deutlicher Aufhellungsstreifen zu erkennen, der quer durch das Transplantat läuft.

Der dauernden mechanischen Biegung durch die funktionelle Inanspruchnahme des Armes ist es hier zuzuschreiben, daß gerade an der Stelle des früheren Bruchspaltes im Defektknochen eine Transplantatpseudarthrose entstand.

Aehnlich liegen die Verhältnisse bei dem zweiten Fall, bei dem es sich ebenfalls um einen 37jährigen Patienten handelt.

27. 3. 35. Oberarmbruch links durch Unfall. Der Bruch wird nicht fest.

4. 7. 35. Operative Anfrischung der Bruchenden (in einer anderen Klinik); kein Erfolg.

8. 11. 35. Spanverpflanzung in der Chirurgischen Universitätsklinik Berlin.

$2^3/_4$ Monate nach der Einpflanzung sieht man den Span bereits in gutem Kontakt mit dem Defektknochen und mit deutlicher Callusbildung in den Pseudarthrosenspalt hinein. Die durch die Magnus-Drähte entstandenen Einkerbungen sind am Span noch gut zu erkennen. Drei Monate nach der Operation wurde der Patient aus der Behandlung entlassen; der Bruch war klinisch fest.

Das Röntgenbild $9^1/_2$ Monate nach der Operation zeigt folgenden Befund: Der Span ist besonders mit dem körperfernen Fragment gut verwachsen. Seine Struktur ist erkennbar, die Ringnekrosen sind wieder ausgeglichen. Der Pseudarthrosenspalt ist nicht gut ausgefüllt und in seiner Höhe beginnt von außen her ein Aufhellungsstreifen durch das Transplantat zu wandern, der klinisch zu einer vollständigen Spanpseudarthrose führte.

Auch in diesem Falle hat sich die funktionelle Belastung an der Stelle des beginnenden Einrisses besonders ausgewirkt, weil auf der anderen Seite der offene Pseudarthrosenspalt die mechanische Biegung nicht genügend abstützte.

Der Ablauf dieser Erscheinungen war bei den einzelnen Patienten nicht immer der gleiche.

Vollständige Spanpseudarthrosen entstanden bei 4 Kranken, wobei zu erwähnen ist, daß in zwei Fällen ein entzündlicher Knochenprozeß mitspielte.

Zweimal kam es zum Abbruch eines Spanendes 3 Monate und $6^1/_2$ Monate nach der Operation.

In zwei Fällen waren die Aufhellungszonen über ein Jahr nach der Operation noch gut zu sehen, während diese in zwei weiteren Transplantaten sich wieder verdichteten und nach Ablauf einiger Wochen kaum mehr zu erkennen waren.

Zusammenfassung.

Die Nachuntersuchung unserer Fälle zeigte, daß

1. die Veränderungen im lebend, periostgedeckt verpflanzten Knochenspan, soweit sie durch den biologischen Um- und Einbau entstanden, den von *Lexer* angegebenen Stadien folgten,

2. entzündliche Knochenprozesse am Transplantatlager die Späne zerstörten,

3. entzündliche Weichteilprozesse in der Umgebung der Verpflanzungsstelle das atrophische Stadium des Spanes verlängerten, aber seine Einheilung nicht verhinderten,

4. Transplantatkrankheiten, die sich als schmale Rißaufhellungen zeigten, in der Mehrzahl der Fälle nach funktioneller Belastung entstanden und in ihrer Entstehung meistens durch mechanische Ursachen erklärbar waren, die wir uns im Sinne von *Haase* so vorstellen, daß häufig auftretende kleinste Erschütterungen das im Umbau befindliche Knochengewebe durch Zerrüttungszonen in der Art schädigen, daß die feinen Gefäße zerrissen werden oder deren Einwachsen verhindert wird. In den Zerrüttungszonen, die in bestimmten Ebenen liegen, treten dann Ernährungsstörungen auf, die an diesen Stellen zur Gewebsschädigung führen. Nach Untersuchungen *Haases* sind für die Lage der Zerrüttungszonen mechanische Gesetze maßgeblich.

Herrn Dozenten Dr. med. *Haase,* Oberarzt an der Chirurgischen Universitätsklinik in *Berlin,* danke ich für die Ueberlassung des Themas und besonders dafür, daß er mir zu jeder Zeit beratend zur Seite stand.

Schriftennachweis.

Brandt: Verzögerte Knochenbruchheilung und Pseudarthrosenbildung. — Verlag Georg Thieme, 1937.

— Anatomisch-funktionelle Abweichungen als Ursache der Pseudarthrosenbildung. Vortr.: Auf der Tagung der Dtsch. Gesellsch. f. Chir. Zentralblatt f. Chir., Nr. 21/1937, S. 1232.

Barth: Ueber Osteoplastik in histologischer Beziehung. Arch. f. klin. Chir., 1894, Bd. 48, S. 466.

Bier: Ueber Knochenregeneration, über Pseudarthrosen und über Knochentransplantate. Arch. f. Chir. 1923, Bd. 127, S. 1—136.

Binswanger: Ueber physikalische Zustandsänderungen an Knochentransplantatenund krankhaft veränderten Knochen. Dtsch. Zeitschr. f. Chir. 1927, Bd. 203 und 204, S. 413.

Burckhardt: Der Mechanismus der Frakturentstehung. Das lavierte Trauma als ein grundlegendes Prinzip in der Pathologie. Die traumatischen Schäden des Bewegungssystems. Arch. f. klin. Chir. 1936, Bd. 185, S. 428.

Campbell: Nicht konsolidierte Oberarmschaftsbrüche (Ref.: Brünning, Gießen). Zentralorg. f. d. gesamte Chir. u. ihre Grenzgeb. 1937, Bd. 82, S. 621.

von Ertl: Chirurgie der Gesichts- und Kieferdefekte. Verlag: Urban u. Schwarzenberg 1918.

— Biegsame Knochentransplantate. Zentralbl. f. Chir. 1937, Nr. 6, S. 362.

Haase: Schubebenen und Zerrüttungszonen beim Knochenbruch. Arch. f. Orthop. u. Unfallchir. 1937, Bd. 37, S. 592.

— Technisch-physikalische Untersuchungen an Knochenbrüchen. Bruns Beitr. zur klin. Chir. 1936, Bd. 164. Heft 2, S. 243.

— Neue Untersuchungen menschlicher und tierischer Knochen nach den Grundsätzen technischer Werkstoffprüfung. „Forschung und Fortschritte" 1937, 13. Jahrg. Nr. 10, S. 130.

Häbler: Chemische und physikalische Eigenschaften des Knochenkallus in Beziehung zum Röntgenbilde. Zentralbl. f. Chir. 1933, I, S. 1370.

— Verursacht der metallische Fremdkörper bei der Osteosynthese Knochenabbau und -atrophie? Arch. f. Orthop. u. Unfallchir. 1936, Bd. 36, S. 485.

Henschen (Basel): Ueber Wesen und Ursache gewisser statischer Deformitäten der Tetanus- und anderer Erschöpfungsfrakturen der Knochen. Chirurgenkongreß 1932. Arch. f. klin. Chir. 1932, Bd. 173, S. 219.

Kappis: Die paraartikuläre Spanathrodese des Hüftgelenks als Experiment zur freien Knochentransplantation. Bruns Beitr. zur klin. Chir. 1924, Bd. 132, S. 93—105.

Kartasev: Zur Frage über das Schicksal und die Rolle der Knochentransplantate (Ref.: Petrov, Leningrad). Zentralorg. f. d. gesamte Chir. 1931, Bd. 53, S. 828.

Kleinschmidt: Ein neuer Behandlungsweg der Pseudarthrosen mit unklarer Aetiologie. Verhandl. d. Dtsch. Gesellsch. f. Chir. 1927, S. 162.

Lexer: Die gesamte Wiederherstellungschirurgie, Band I. Verlag: Joh. Ambr. Barth 1931.

— Die freien Transplantationen, II. Teil. Verlag: F. Enke 1924.

— Röntgenbilder: Erkrankung v. Knochentransplantaten. Der Chirurg 1935, S. 578.

— Ueber die Entstehung von Pseudarthrosen nach Frakturen und nach Knochentransplantationen. Arch. f. Chir. 1922, Bd. 119, S. 520.

Magnus: Wesen und Behandlung der Pseudarthrose. Vortr.: Auf der Tagung der Dtsch. Gesellsch. f. Chir. Zentralbl. f. Chir. Nr. 21/1937, S. 1228.

Matti: Die Knochenbrüche und ihre Behandlung. Verlag Julius Springer 1931.

Ollier: De l'ostégénése chirurgiale. Verhandl. d. X. intern. Med. Kongr. Berlin 1890, Bd. III, S. 2—28.

Odelberg-Johnseon (Stockholm): Ueber Defektbildung im Knochentransplantat nach der Albeeschen Operation bei tuberkulöser Spondylitis (Refer.: Valentin, Hannover). Zentralbl. f. Chir. 1935, II, S. 1848.

Orell (Stockholm): Experimentalchirurgische Studie über Knochentransplantate und ihre Anwendung in der prakt. Chir. Zeitschr. f. Chir. 1931, Nr. 232, S. 701.

— Studium über Knochentransplantation. Zentrlabl. f. Chir. 1934, I, S. 409.

— Studien über Knochenimplantation und Knochenneubildung, Implantation von os purum sowie Transplantation von os novum (Refer.: Fritsch, Kassel). Zentralbl. f. Chir. 1935, I, S. 2344.

Petrow: Ein 25 Jahre altes Knochentransplantat (Refer.: Peiser, Berlin). Zentralbl. f. Chir. 1933, Nr. 34, S. 2037.

Rehn: Wiederherstellungschirurgie einschließlich der Verwertung freier Transplantationen, Ueberblick und heutiger Stand. Vortr. am 18. 4. 1936 (Chir.-Kongreß). Arch. f. klin. Chir. 1936, Bd. 186, S. 244.

Sinn: Ueber die Bedeutung der mechanischen Ursachen der Pseudarthrosen (aus d. Univ. Klinik Kiel). Zentralbl. f. Chir. Nr. 18, S. 1054.

Trèves: A propos des greffes osseuses. Le rôle du perioste (Refer.: Hirsch, Wien). Zentralorg. f. d. ges. Chir. 1929, Bd. 46, S. 414.
Verescinski: Ueber den Einfluß des umgebenden Mediums auf das Schicksal des Knochentransplantates (Refer.: Ackermann, Leningrad). Zentralorg. f. d. ges. Chir. 1937, Bd. 38, S. 94.
Wachsmuth: Zur Aetiologie der schleichenden Frakturen. Der Chirurg, Januar 1937, Nr. 1, S. 16.
Wenzl: Kippspanplastik zur Behandlung von Pseudarthrosen. Der Chirurg, Heft 8/1937 v. 15. 4. 37, S. 292.

Lebenslauf.

Am 19. Juli 1911 wurde ich in Gevezin (Meckl.) geboren. Nach Besuch der Volksschule war ich Schüler der Realschule und des Reformrealgymnasiums zu Neubrandenburg. Dort legte ich Ostern 1932 die Reifeprüfung ab.

Im Herbst 1932 begann ich das Medizinstudium in Greifswald. Ich studierte dort 5 Semester und bestand die medizinische Vorprüfung im Frühjahr 1935. — Am 1. April 1935 trat ich als Fahnenjunker (i. San.-Korps) ins Heer ein. Mein 6. Semester (Som.-Sem. 1935) belegte ich in Rostock und von meinem 7. Semester ab studierte ich in Berlin; hier bestand ich mein Staatsexamen am 30. Juni 1938.